

## RELAÇÕES ENERGÉTICAS E AERODINÂMICAS EM UMA CULTURA DE FEIJÃO

### ENERGETIC AND AERODYNAMIC RELATIONS IN A BEAN CROP

Renato Zorzenon dos Santos<sup>1</sup> e Romísio Geraldo Bouhid André<sup>2</sup>

#### RESUMO

Procura-se mostrar, através da análise dos termos do balanço de energia e parâmetros aerodinâmicos, as variações que ocorrem no desenvolvimento de uma cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivar *Aroana-80*. Um experimento de campo foi montado na área experimental do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, Piracicaba, SP. Foram medidos todos os parâmetros necessários à aplicação do balanço de energia e cálculo dos parâmetros aerodinâmicos. Ambos se mostraram úteis para caracterização da fase de florescimento da cultura, subsidiando avaliações relativas ao comportamento fisiológico das plantas em resposta às variações dos parâmetros micrometeorológicos ao longo de dois dias, um de alta e outro de baixa demanda evaporativa atmosférica.

**Palavras-chave:** balanço de energia, resistência aerodinâmica, resistência da cobertura, feijão.

#### SUMMARY

The objective of this work is to show variations in the energy balance components and aerodynamic characteristics in a bean crop (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivar *Aroana-80*. An experiment was conducted at the experimental field of ESALQ/USP, Piracicaba, SP. All the parameters for energy balance and aerodynamic characteristics were taken in the center of the plot. They seemed to be useful to characterize plant's physiological responses to the micrometeorological conditions during the crop

---

<sup>1</sup> Engº Agrº, MSc., Núcleo de Monitoramento Ambiental NMA/EMBRAPA. Av. Prof. Júlio de Arruda Soares, 803 CEP.13085, Campinas-SP.

<sup>2</sup> Bel em Meteorologia, Dr., Prof. Assistente do Dep. de Ciências Exatas da FCAVJ - UNESP. Rodovia Carlos Tonanni, km 5. CEP 14870, Jaboticabal-SP.

blooming phase in two days, one with high and other with low atmospheric evaporative demand.

**Key-words:** energy balance, aerodynamic resistance, crop resistance, beans crop.

## INTRODUÇÃO

O balanço de energia é de grande importância para caracterizar ambientes agronômicos, pois a análise de seus componentes pode fornecer informações de utilidade a partir de dados de radiação, temperatura e umidade tomados em dois ou mais níveis de medida (STEWART & THOM, 1973; ANDRÉ, 1981). Além disso, através de medidas de perfis é possível a obtenção de alguns parâmetros aerodinâmicos de uma cultura, que permitem sua especificação física nos diferentes estádios de crescimento (THOM, 1975; BRUIN & MOORE, 1985). Neste caso, estão incluídos o deslocamento do plano zero ( $d$ ), o parâmetro de rugosidade ( $z_o$ ), a velocidade de fricção ( $u_*$ ) e a resistência aerodinâmica ( $r_a$ ).

Como em toda superfície rugosa, o escoamento do ar, dado pela velocidade do vento acima de uma cobertura vegetal, gera movimento turbulento decorrente das forças de atrito que se opõem ao transporte de *momentum* e que afetam o fluxo vertical de vapor d'água. A turbulência também é influenciada pela variação na densidade do ar que troca calor com a superfície.

As resistências oferecidas ao transporte de *momentum*, calor sensível e calor latente dependem das características aerodinâmicas da superfície, sendo denominadas resistências aerodinâmicas ( $r_a$ ) e estimadas a partir dos perfis de vento, temperatura e umidade específica. Para condições estáveis (*inversão térmica*) e instáveis (*convecção livre*), situações previstas pelo número de Richardson ( $R_i$ ), deve-se incluir um fator de estabilidade na estimativa da resistência aerodinâmica.

As resistências aerodinâmicas ao transporte de calor sensível ( $r_{ah}$ ) e vapor d'água ( $r_{av}$ ) podem ser consideradas iguais, visto que ambas são governadas pelo mesmo mecanismo, a difusão turbulenta. A resistência ao transporte de *momentum* ( $r_{am}$ ) deve ser diferente uma vez que a transferência de *momentum* é na direção da superfície vegetal e, portanto, mais efetiva que as demais (THOM, 1972; DEHEERAMISSAH *et al*, 1981).

A resistência aerodinâmica ( $r_a$ ) para cobertura vegetal de porte elevado é menor, quando comparada a cobertura de porte baixo, porque, do ponto de vista aerodinâmico, uma plantação de porte elevado possui um parâmetro de rugosidade ( $z_o$ ) maior, o que lhe confere maior superfície de contato,

facilitando a difusão turbulenta (MONTEITH, 1965). Em termos diários, há uma tendência de  $r_a$  apresentar valores elevados nas primeiras horas do dia e no final da tarde, com menores valores ocorrendo no decorrer do período diurno, conforme pode ser observado em HEILMAN & KANEMASU em sorgo (1976), PEDRO JR. & VILLA NOVA (1983) em soja e BROWN & ROSENBERG (1973) para a cultura da beterraba.

Este trabalho procura caracterizar um estágio fenológico da cultura de feijão, variedade *Aroana-80*, através da análise dos termos do balanço de energia e parâmetros aerodinâmicos, em condições de alta e de baixa demanda atmosférica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área pertencente ao Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, Piracicaba - SP, no período de janeiro a abril de 1985. A área experimental com dimensões de 60 x 65m ou 3.900 m<sup>2</sup> era circundada por uma bordadura gramada com 10 m de largura. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo *Cwa* e o solo da área de estudo pertence à série Luiz de Queiroz, sendo classificada como Terra Roxa Estruturada.

A cultura utilizada foi a do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) cultivar *Aroana-80*, de hábito de crescimento indeterminado arbustivo, com ciclo variando de 90 a 100 dias e início da floração ocorrendo entre 35 e 40 dias após a emergência. A cultura foi mantida sem limitação de água, através de um sistema de irrigação por aspersão. Todos os dados foram coletados no centro da área de estudo.

As formas da energia colocadas à disposição da cultura do feijão foram analisadas através da

$$Q^* - FC = H + LE \quad (1)$$

partição da energia disponível (VILLA NOVA, 1973; ANDRÉ, 1981):

Na equação (1), o primeiro membro representa a energia radiante disponível e o segundo a energia turbulenta, sendo  $Q^*$  o saldo de radiação;  $FC$  o fluxo de calor no solo;  $H$  o fluxo de calor sensível e  $LE$  o fluxo de calor latente.

O termo relativo à energia utilizada nos processos fotoquímicos como na fotossíntese, foi desprezado. A parcela de energia relativa à advecção de calor latente e sensível, também foi negligenciada devido à homogeneidade da área de estudo (THOM, 1975; BRUTSAERT, 1982) e ao fato das medidas terem sido tomadas dois dias após a ocorrência de precipitações, o que contribuiu para minimizar os efeitos de trocas advectivas entre a superfície cultivada com feijão e a circunvizinhança. A

energia armazenada entre a superfície e o topo do dossel vegetativo também foi desprezada, uma vez que, por se tratar de uma cultura de porte relativamente baixo, o volume ocupado pelo dossel vegetativo não armazena quantidade de energia que possa ser considerada significativa (STEWART & THOM, 1973).

Os fluxos  $Q^*$  e  $FC$  foram medidos diretamente e  $H$  e  $LE$  foram estimados através de perfis. O nível, tomado como referência, foi 140 cm acima do dossel e as medições efetuadas a cada 30 minutos.

O saldo radiação foi medido por um saldo radiômetro de fabricação Middleton, instalado a 140 cm acima do dossel da cultura. O fluxo de calor que ocorre a partir da superfície do solo foi medido por dois fluxímetros Middleton, um deles colocado entre linhas e outro entre plantas, ligados em série a uma profundidade de 0,5 cm.

$$H = \rho c_p \frac{T_z - T_o}{r_a} \quad (2)$$

O fluxo de calor sensível ( $H$ ) foi obtido a partir da equação (BROWN & ROSEMBERG, 1973; HEILMAN & KANEMASU, 1976; VERMA *et al*, 1976):

sendo  $\rho$  a densidade do ar ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $c_p$  o calor específico do ar à pressão constante ( $\text{cal.g}^{-1}.\text{C}^{-1}$ );  $T_z$  a temperatura do ar no nível  $z$  ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_o$  a temperatura do ar junto à superfície vegetada ( $^{\circ}\text{C}$ );  $r_a$  a resistência aerodinâmica ao fluxo de calor ( $\text{s.cm}^{-1}$ ).

O fluxo de calor latente foi obtido de maneira residual, através da equação do balanço de energia (1) (HEIMAN e KANEMASU, 1976; VERMA *et al.*, 1976).

A resistência aerodinâmica ( $\text{s.cm}^{-1}$ ) foi obtida pela expressão (MONTEITH, 1973):

$$r_a = \frac{u(z)}{u_*^2} = \left[ \ln \frac{(z-d)}{z_o} + \Phi_m \right]^2 / k^2 u(z) \quad (3)$$

onde  $u(z)$  é a velocidade do vento à altura  $z$ ,  $u_*$  a velocidade de fricção. Os parâmetros aerodinâmicos,  $d$ ,  $z_o$ ,  $u_*$  foram obtidos da expressão do perfil logarítmico do vento (5 níveis) selecionado de acordo com o número de Richardson ( $R_i$ ) para o intervalo  $-0,03 < R_i < 0,03$  (WEBB, 1970; PRUITT *et al*, 1973 e MONTEITH, 1973). O parâmetro  $k$  (adimensional) corresponde à constante de Von Karman e  $\Phi_m$  (adimensional) é uma função de estabilidade dada:

$$\Phi_m = (1 - 5 R_i)^{-1}, \quad \text{estável}, \quad (4)$$

$$\Phi_m = 1, \quad \text{neutro}, \quad (5)$$

$$\Phi_m = (1 - 16 R_i)^{-1/4}, \quad \text{instável}, \quad (6)$$

Os níveis considerados para coleta dos dados foram 0, 20, 60, 140 e 300 cm acima da cobertura vegetal.

O número de Richardson ( $R_i$  - adimensional) foi calculado tomando-se por base os níveis a 20 cm e a 140 cm acima do dossel, de onde foram obtidos a diferença de temperatura ( $DT$ ), a diferença de velocidade do vento ( $Du$ ) e a temperatura média ( $T$ ) entre os dois níveis, dado por ( $g = 980 \text{ cm.s}^{-2}$ ):

$$R_i = \frac{g(\Delta T/\Delta z)}{T(\Delta u/\Delta z)^2} \quad (7)$$

A resistência oferecida pela cultura à difusão de vapor d'água ( $r_c$ ,  $\text{s.cm}^{-1}$ ) por efeito da abertura e fechamento dos estômatos e da evaporação da água do solo, pode ser obtida por (MONTEITH, 1973):

$$r_c = \frac{\gamma c_p}{g} \frac{e_s(T_o) - e(T)}{E} 60 \quad (8)$$

onde  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $\text{mb.}^\circ\text{C}^{-1}$ );  $L$  o calor latente de evaporação ( $\text{cal g}^{-1}$ );  $e_s(T_o)$  a pressão de saturação do vapor à temperatura ( $T_o$ ) da cobertura vegetal (mb);  $e(T)$  a pressão parcial do vapor junto à cobertura vegetal (mb) e  $E$  a evapotranspiração ( $\text{g cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

Os valores de  $e_s(T_o)$  e  $e(T_o)$  foram determinados a partir da metodologia proposta por MONTEITH (1965), com dados dos perfis de temperatura, pressão de vapor e velocidade do vento. Tal metodologia propõe a plotagem, em gráfico, da temperatura  $T$  (e da pressão de vapor  $e$ ) contra a velocidade do vento ( $u$ ) em vários níveis de altura.

Os dados de  $T$  e  $e$  foram obtidos a partir de pares termoeletrônicos, instalados nos mesmos níveis dos anemômetros utilizados para a medida de  $u$ .

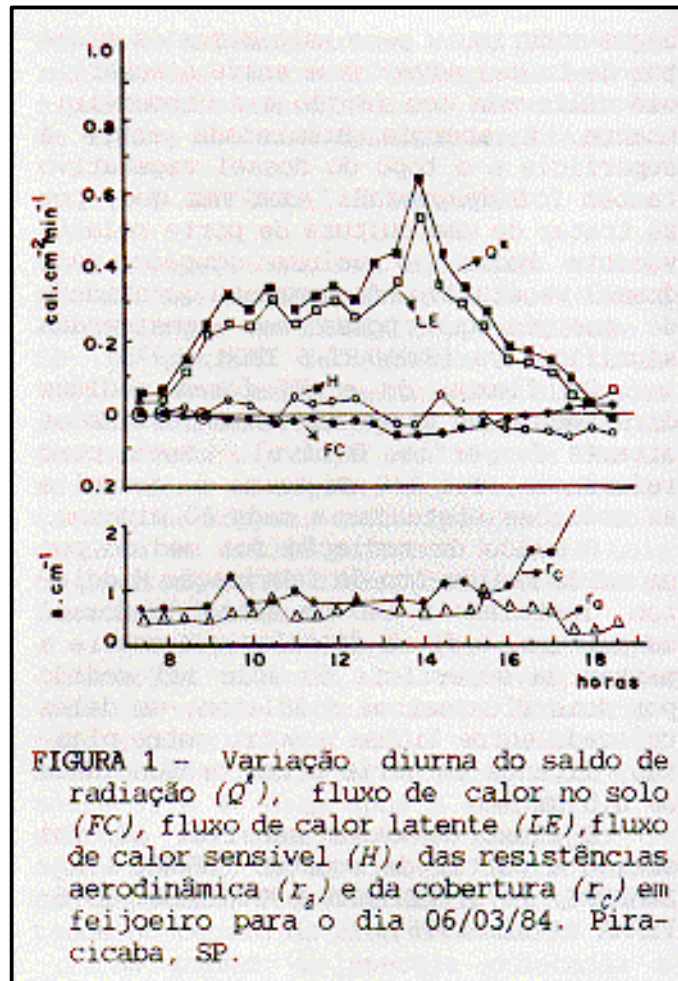
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes aos dias típicos escolhidos para caracterizar situações diferentes podem ser vistos a seguir:

I - Dia 06/03/84 (precipitação de 12 mm no dia anterior). Refere-se ao início da fase de florescimento. É caracterizado por um dia de baixa demanda evaporativa, devido à nebulosidade, com insolação relativa ( $n/N$ ) de 0,5. A temperatura máxima foi de  $35,2^\circ \text{C}$  e a mínima de  $20,4^\circ \text{C}$ , medidas ao nível do abrigo, sendo a densidade de fluxo de radiação solar global igual a  $354 \text{ cal cm}^{-2}$  e a evaporação medida no tanque Classe A igual a 5,0 mm. Para este dia, o índice de área foliar ( $IAF$ ) foi igual a 4,5 e a

altura das plantas chegou a 43 cm. O parâmetro de rugosidade ( $z_0$ ) foi de 3,2 cm e o deslocamento do plano zero ( $d$ ) de 30,0 cm.

A Figura 1 mostra a variação diurna dos componentes do balanço de energia e as resistências aerodinâmica e da cobertura vegetal. Apesar de ser dia de baixa demanda evaporativa, quase toda energia disponível foi utilizada pelo fluxo de vapor d'água. Os fluxos  $H$  e  $FC$  representam parcela pequena de  $Q^*$  e a advecção não afetou o processo.

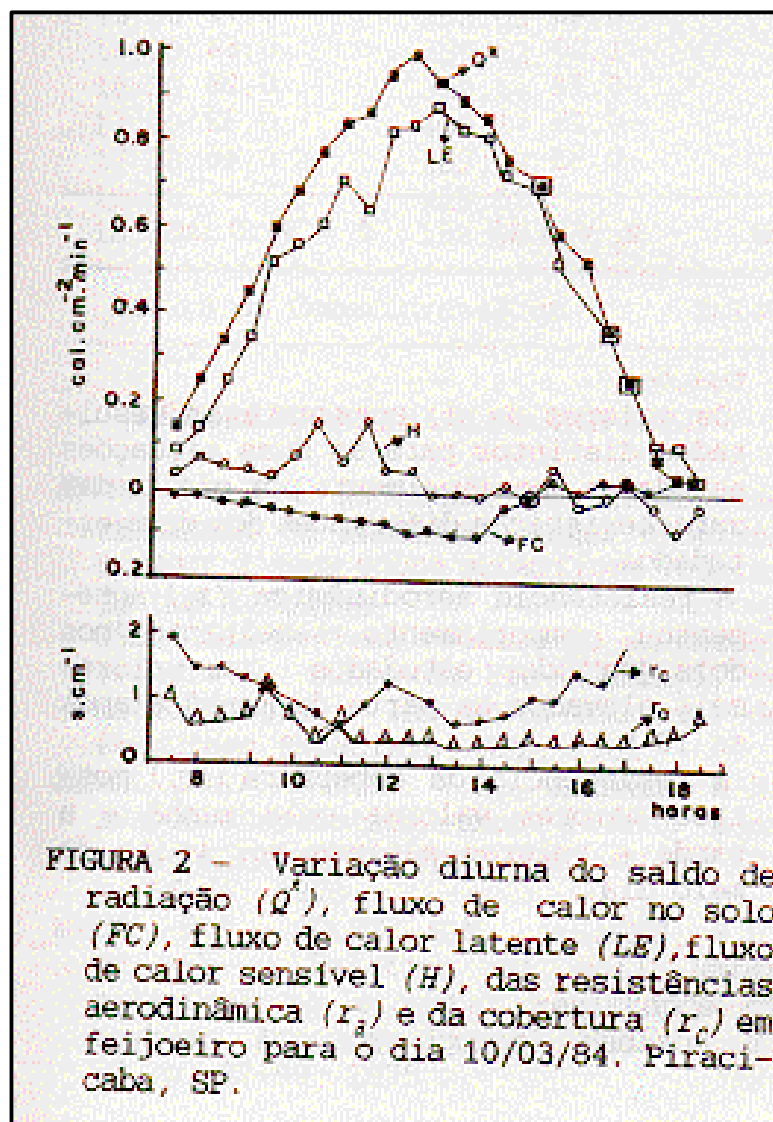


A resistência aerodinâmica média foi de  $0,65 \text{ s.cm}^{-1}$ , permanecendo desde as 7h 30m até as 17h entre  $0,51$  e  $0,82 \text{ s.cm}^{-1}$ , com exceção para os horários das 12h 30m e das 15h 30m, quando os valores estimados foram  $0,97$  e  $1,03 \text{ s.cm}^{-1}$ , respectivamente. As 17h30m  $r_a$  caiu para  $0,27 \text{ s.cm}^{-1}$  voltando em seguida a apresentar valores crescentes no início da noite. Quanto à resistência da cobertura, com exceção dos horários 9h 30m ( $1,53 \text{ s.cm}^{-1}$ ) e 11 h ( $1,08 \text{ s.cm}^{-1}$ ), seu valor oscilou entre  $0,68$  e  $0,85 \text{ s.cm}^{-1}$  desde às 7h 30m até as 14 h, quando passou a assumir valores crescentes à medida em que foi se aproximando o final do período diurno. Na Tabela 1, são encontrados os parâmetros aerodinâmicos

característicos deste dia.

II - Dia 10/03/84 (precipitação de 13 mm no dia 07/03/84). Fase de florescimento. É caracterizado por um dia de alta demanda evaporativa, com temperatura máxima de 31,6° C e mínima de 19,2°C medidas ao nível do abrigo meteorológico. A densidade de fluxo de radiação solar global foi igual a 692 cal.cm<sup>-2</sup>, insolação relativa ( $n/N$ ) de 0,8 e 7,7 mm de evaporação medida no tanque Classe A. Com um  $IAF$  de 5 para uma altura média do dossel de 43 cm, a cultura do feijão neste dia, apresentou um  $z_0 = 3,3$  cm e  $d = 39,5$  cm.

A Figura 2 mostra a variação diurna dos componentes do balanço de energia e as resistências aerodinâmica e da cobertura vegetal. Este dia também apresentou um  $Q^*$  elevado e, da mesma forma, a



partição revelou um  $LE$  elevado e  $H$  e  $FC$  baixos. A partir das 13h,  $H$  sofreu inversão, favorecendo o processo da advecção, que neste caso, podemos considerar desprezível, já que  $LE$  não suplantou  $Q^*$  em nenhum momento. O  $FC$  manteve o mesmo comportamento nos dias estudados.

A resistência aerodinâmica oscilou entre 0,30 e 0,48 s.cm<sup>-1</sup>, das 10h 30m às 17h 30m; entre 0,63 e 1,66 s.cm<sup>-1</sup> no início da manhã e, de 0,51 a 0,84 s.cm<sup>-1</sup>, a partir das 18 h. A resistência da cobertura mostrou-se decrescente do início da manhã (8 h) até às 11 h com valores de 1,59 a 0,65 s.cm<sup>-1</sup>, que é o mínimo valor para o dia. Apresenta um aumento, característico de horários com deficiência hídrica, das 11 h (0,90 s.cm<sup>-1</sup>) às 13 h (1,07 s.cm<sup>-1</sup>), voltando a decrescer às 13 h (0,65 s.cm<sup>-1</sup>) e, em seguida, assumindo valores crescentes à medida que se aproximou o final da tarde. Na Tabela 2, são mostrados os parâmetros aerodinâmicos para este dia.

Os valores de  $r_a$ , ao longo dos dias, estiveram abaixo daqueles observados para  $r_c$  (Figuras 1 e 2), o que também foi constatado por BROWN & ROSEMBERG (1973) em beterraba, VERMA *et al* (1976) para sorgo e por PEDRO JR. & VILLA NOVA (1983) para uma cultura de soja, indicando que as trocas de calor latente, por efeito da difusão turbulenta, são mais eficientes, comparadas à difusão de vapor a partir da cobertura foliar que oferecem maiores restrições aos fluxos verticais por estarem relacionadas aos mecanismos fisiológicos da planta. BLACK *et al* (1970) encontraram, para a cultura do feijão valores médios diários de  $r_a$  da ordem de 0,3 a 0,5 s.cm<sup>-1</sup>, um pouco inferiores aos 0,5 s.cm<sup>-1</sup> (06/03/84); e 0,59 s.cm<sup>-1</sup> (10/03/84), encontrados neste estudo.

A variabilidade apresentada pelos dados de  $r_a$ , como por exemplo entre às 12h 30m e 15h 30m do dia 06/03/84, pode ter sido influenciada pela altura máxima de coleta dos dados (140 cm.). À este nível, os parâmetros medidos que deveriam ser representativos dos processos turbulentos ocorridos na camada limite, em alguns momentos podem ter sofrido influência das trocas ocorridas na camada imediatamente acima desta, induzindo a um comportamento anômalo de  $r_a$ .

As variações diárias de  $r_c$  apresentadas nas Figuras 1 e 2, com os maiores valores no início do dia e final da tarde e valores mínimos por volta das 12 h, são coincidentes com aquelas determinadas para diversas culturas, seja de porte elevado como florestas (TAN & BLACK, 1976), de porte médio como sorgo (HEILMAN & KANEMASU, 1976; VERMA *et al*, 1976) ou, ainda, de porte mais baixo como o próprio feijão (KANEMASU & TANNER, 1969; DAVIES, 1972), soja (BRADY *et al*, 1975; JUNG & SCOTT, 1980), beterraba (BROWN & ROSENBERG, 1973) e grama (DEEHER-AMISSAH *et al*, 1981).



**TABELA 1 - Velocidade do vento  $u(z)$ , número de Richardson ( $Ri$ ), fator de estabilidade atmosférica ( $\Phi_s$ ) e resistência aerodinâmica ( $r_s$ ), determinados para o dia 06/03/84.**

Hora	$u(z)(\text{cm.s}^{-1})$	$Ri$	$\Phi_s$	$r_s(\text{s cm}^{-1})$
7:30	171,98	-1,03	0,49	0,56
8:00	156,84	-1,02	0,49	0,62
8:30	166,98	-0,96	0,50	0,58
9:00	186,99	-1,11	0,48	0,52
9:30	146,64	-2,83	0,38	0,63
10:00	128,80	-1,75	0,43	0,73
10:30	121,15	-0,68	0,54	0,82
11:00	192,00	-0,79	0,52	0,51
11:30	192,00	-0,69	0,54	0,52
12:00	138,99	-2,85	0,38	0,66
12:30	93,11	-4,02	0,35	0,97
13:30	110,95	-4,71	0,34	0,81
14:00	118,60	-2,25	0,40	0,78
14:30	146,64	-4,11	0,35	0,62
15:00	146,64	-0,87	0,51	0,67
15:30	82,92	-18,05	0,24	1,03
16:00	131,35	-0,88	0,51	0,75
16:30	133,90	-1,29	0,46	0,71
17:00	192,00	+0,03	1,00	0,64
17:30	174,49	+0,47	-0,74	0,28
18:00	197,00	+0,89	-0,29	0,32
18:30	133,90	+0,81	-0,33	0,46

Altura da Cobertura = 40 cm       $z = 140$  cm       $z_0 = 3,15$        $d = 30,0$  cm

**TABELA 2 - Velocidade do vento  $u(z)$ , número de Richardson ( $R_i$ ), fator de estabilidade atmosférica ( $\Phi_s$ ) e resistência aerodinâmica ( $r_s$ ) determinados para o dia 10/03/84.**

Hora	$u(z)(\text{cm.s}^{-1})$	$R_i$	$\Phi_s$	$r_s(\text{s.cm}^{-1})$
7:00	70,17	0,00	1,00	1,66
7:30	77,82	-14,71	0,25	1,03
8:00	134,00	-4,53	0,34	0,63
8:30	105,85	-12,52	0,26	0,76
9:00	105,85	-3,96	0,35	0,80
9:30	65,07	-21,73	0,23	1,22
10:00	105,85	-5,56	0,32	0,79
10:30	189,49	-1,05	0,49	0,48
11:00	126,25	-2,73	0,39	0,69
11:30	192,00	-2,42	0,40	0,45
12:00	269,52	-0,67	0,54	0,35
12:30	244,52	-1,19	0,47	0,37
13:00	217,00	-0,59	0,56	0,43
13:30	282,02	-0,33	0,63	0,35
14:00	274,52	-0,43	0,60	0,35
14:30	337,05	-0,17	0,72	0,30
15:00	282,02	-0,02	1,00	0,41
15:30	282,02	-0,55	0,56	0,33
16:00	239,52	-0,61	0,55	0,39
16:30	329,54	+0,03	1,00	0,35
17:00	400,87	-0,01	1,00	0,29
17:30	262,02	0,00	1,00	0,44
18:00	229,51	0,00	1,00	0,51
18:30	138,99	+0,15	4,00	0,84

Altura da Cobertura=43 cm       $Z=140$  cm       $Z_0=3,27$  cm       $d=39,5$  cm

## CONCLUSÕES

1. O balanço de energia é um eficiente método para caracterizar a fase de florescimento da cultura, em termos energéticos. Dentre os componentes do balanço energético, ao fluxo de vapor ( $LE$ ) coube a maior parcela nas duas situações analisadas.
2. Os parâmetros aerodinâmicos utilizados para caracterizar o estágio fenológico estudado, mostraram valores de  $z_o$  praticamente iguais para as duas situações.
3. Os valores de  $d$ , apresentaram resultados distintos para as duas situações estudadas, possivelmente por efeito das características diferentes dos dias estudados.
4. A resistência aerodinâmica ( $r_a$ ) apresentou comportamento semelhante nos dois períodos estudados, com valores mais elevados na parte da manhã e após as 18 h.
5. A resistência da cobertura ( $r_c$ ) mostrou maiores valores pela manhã e a tarde e valores mínimos por volta do meio dia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉ, R.G.B. Um estudo dos transportes verticais de *momentum* calor sensível e vapor d'água sobre superfície vegetada nos trópicos. São José dos Campos, 1980. 112 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, MCT, 1981.
- BLACK, T.A., TANNER, C.B., GARDNER, W.R. Evapotranspiration from a snap bean crop. *Agronomy Journal*, Madison, v. 62, p. 66-69, 1970.
- BRADY, R.A., GOLTZ, S.M., POLWERS, W.L. *et al.* Relation of soil water potential to stomatal resistance of soybean. *Agronomy Journal*, Madison, v. 67, p. 97-99, 1975.
- BROWN, K.W., ROSEMBERG, N.J. A resistance model to predict evapotranspiration and its application to a sugar beet field. *Agronomy Journal*, Madison, v. 65, p. 341-347, 1973.
- BRUIN, H.A.R., MOORE, C.J. Zero plane displacement and roughness length for tall vegetation, derived from a simple mass conservation hypothesis. *Boundary-Layer Meteorology*, Dordrecht, v.31, p. 39-49, 1985.
- BRUTSAERT, W. *Evaporation into the atmosphere*. Holanda, D. Reidel, 1982. 299 p.
- DAVIES, J.A. Actual, potencial and equilibrium evaporation for a beam field in southern Ontário.

- Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 10, p. 331-348, 1972.
- DEHEER-AMISSAH, A., HOGSTROM, V., SMEDMAN-HOGSTROM, A.S. Calculation of sensible and latent heat fluxes and surface resistance from profile data. **Boundary-layer Meteorology**, Dordrecht, v. 20, p. 35-49, 1981.
- HEILMAN, J.L., KANEMASU, E.T. An evaluation of a resistance form of the energy balance to estimate evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 607-611, 1976.
- JUNG, P.K., SCOTT, H.D. Leaf-water potential, stomatal resistance and temperature relations in field grown soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 986-990, 1980.
- KANEMASU, E.T., TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I- Influence of leaf-water potential. **Plant Physiology**, Baltimore, v. 44, p. 1547-1552, 1969.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. In: FOGG, G.F. **The state and movement of water in living organism**. Nova Iorque: Academic Press, 1965. p. 205-234.
- MONTEITH, J.L. **Principles of environmental physics**. Londres: Edward Arnold Ltd., 1973. 241 p.
- PEDRO JR., M.J., VILLA NOVA, N.A. Estimativa da resistência ao transporte de vapor d'água em uma cultura de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 18, p. 691-694, 1983.
- PRUITT, W.O., MORGAN, D.L., LOURENCE, F.J. Momentum and mass transfers in the surface Boundary-Layer. **Quart. J.R. Met. Society**, London, v. 99, p. 370-386, 1973.
- TEWART, J. B., THOM, A.S. Energy budgets in pine forest. **Quart. J. R. Met. Society**, London, v. 99, p. 154-170, 1973.
- TAN, C.S., BLACK, T.A. Factors affecting the canopy resistance of a douglas-fir forest. **Boudary-layer Meteorology**, Dordrecht, v. 10, p. 475-488, 1976.
- THOM, A.S. Momentum, mass and heat exchange of vegetation. **Quant. J.R. Met. Society**, London, v. 98, p. 124-134, 1972.
- THOM, A.S. Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: Monteith, J.L. **Vegetation and the atmosphere**, Londres: Academic Press, p. 57-109, 1975.
- VERMA, S.B., ROSEMBERG, N.J., BLAD, B.L. *et al.* Resistance-energy balance model for predicting evapotranspiration: Determination of boundary layer resistance and evaluation of error effects. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 776-782, 1976.
- VILLA NOVA, N.A. **Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz**. Piracicaba, 1973. 89 p. Tese (Livre Docência em Agrometeorologia), ESALQ/USP, 1973.
- WEBB, E.K. Profile relationships: The log-linear range, and extension to strong stability. **Quart. J. R.**

**Met. Society.** London, v. 96 n. 407, p. 67-70, 1970.